

# CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES ELÉTRICAS E MAGNÉTICAS DE CERÂMICAS DE ZnO + TERRAS RARAS SINTERIZADAS

Kaik Kauã Santos Rodrigues<sup>1</sup>; Mateus Felipe Cabral Gomes<sup>2</sup>; Kelly Ferreira Marinho de Almeida<sup>3</sup>; Dr. Fábio Henrique Silva Sales<sup>4</sup>

## RESUMO

Este estudo investiga as propriedades elétricas e magnéticas de compostos cerâmicos à base de óxido de zinco ( $ZnO$ ) dopado com óxido de níquel III ( $Ni_2O_3$ ), com o objetivo de desenvolver pastilhas capacitivas e resistivas para aplicação na indústria de dispositivos eletrocerâmicos. As amostras de  $ZnO$  dopada com ( $Ni_2O_3$ ) foram analisadas após o processo de sinterização a partir do aparelho LCR com a variação da frequência, revelando uma redução consistente na massa, indicando a remoção de voláteis e compactação do material. As amostras exibiram uma ampla gama de valores de resistência ( $R_s$ ) e capacitância ( $C_s$ ) em diferentes frequências, revela atribuídos a diferenças na estrutura cristalina e presença de impurezas. Essas amostras mostraram comportamentos elétricos com variações específicas de acordo com que a frequência aumenta a sua resistência e capacitância tendem a diminuir, destacando assim a influência da dopagem nas propriedades do material.

**Palavras-chave:** Eletrocerâmicas; óxido de zinco; óxido de níquel III; Propriedades elétricas; Propriedades magnéticas.

Fomento do IFMA Campus Monte Castelo.

---

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Licenciatura em Física do IFMA Campus Monte Castelo; E-mail: [kaik.kaua@acad.ifma.edu.br](mailto:kaik.kaua@acad.ifma.edu.br)

<sup>2</sup> Estudante do Curso de Licenciatura em Física do IFMA Campus Monte Castelo; E-mail: [mateusf@acad.ifma.edu.br](mailto:mateusf@acad.ifma.edu.br)

<sup>3</sup> Estudante do Curso de Licenciatura em Física do IFMA Campus Monte Castelo; E-mail: [kellya@acad.ifma.edu.br](mailto:kellya@acad.ifma.edu.br)

<sup>4</sup> Professor do Curso de Licenciatura em Física do IFMA Campus Monte Castelo; E-mail: [fsales@ifma.edu.br](mailto:fsales@ifma.edu.br)

## INTRODUÇÃO

Cerâmicas de ZnO dopadas com terras raras têm despertado interesse devido às suas propriedades elétricas e magnéticas únicas, que as tornam promissoras para diversas aplicações tecnológicas, incluindo sensores, dispositivos eletrônicos e materiais magnéticos. No entanto, para explorar todo o potencial desses materiais, é fundamental compreender suas características estruturais e funcionais por meio de técnicas de análise adequadas. Partindo desse pressuposto, o presente projeto foi desenvolvido visando explorar as propriedades elétricas e magnéticas do zinco ( $ZnO$ ), dopado com outros elementos, buscando assim ampliar o conhecimento voltado para esta área de forma mais abrangente, especialmente considerando sua sinterização em condições controladas, assim trazendo informações e desenvolvimento para a comunidade científica e tecnológica.

As terras raras são um grupo de 17 elementos químicos, dos quais 15 pertencem à série de lantanídeos, além do escândio (Sc) e do ítrio (Y). São conhecidos por suas propriedades semelhantes, como alta condutividade elétrica, resistência à corrosão e forte magnetismo – sua classificação como ‘raras’ deve-se justamente à dificuldade na separação, visto que ocorrem em vários minérios de composições distintas. Ademais, no cenário atual, é de grande importância para o desenvolvimento de tecnologias avançadas, uma vez que são essenciais na produção de componentes magnéticos, dispositivos de absorção e emissão de luz, sendo consideradas por muitos como materiais críticos para economia e tecnologia.

Enquanto isso, o níquel é um elemento metálico localizado no quarto período da tabela periódica, sendo o primeiro elemento do grupo 10. Trata-se de um metal de coloração branca-prateada, duro, maleável, com elevada resistência à coesão, que se destaca pelo seu magnetismo – podendo se tornar um ímã quando entra em contato com os campos magnéticos. As cerâmicas produzidas a partir do óxido de níquel III ( $Ni_2O_3$ ) apresentam alta condutividade elétrica e comportamento semicondutor, características que as tornam materiais promissores para diversas aplicações tecnológicas, incluindo revestimentos de condutores, baterias recarregáveis, catalizadores, entre outras.

Da mesma forma, os compostos cerâmicos à base de óxido de zinco ( $ZnO$ ) representam materiais altamente promissores em diversas áreas de aplicação como catálise, células fotovoltaicas, dispositivos eletrônicos. Encontrados naturalmente no

mineral zincita, são semicondutores do tipo N, cuja condutividade se deve à presença de impurezas dopantes que se ligam à sua rede cristalina, fornecendo elétrons de valência livres que poderão circular ao longo das vacâncias, devido à sua elevada mobilidade eletrônica.

Nesse contexto, esse material tem sido amplamente utilizado na indústria cosmética, principalmente devido à sua propriedade atenuante de absorver e dispersar a radiação UV. Por essa razão, é frequentemente incorporado aos mais diversos produtos com objetivo de filtrar esses espectros de absorção. Assim, embora o óxido de níquel III ( $Ni_2O_3$ ) seja um composto instável nas condições normais, espera-se que sua combinação com cerâmicos à base de óxido de zinco ( $ZnO$ ) possa resultar em um novo material compósito com propriedades únicas, representando assim um significativo avanço tecnológico e científico com potenciais impactos nessa área de pesquisa.

## **METODOLOGIA**

A etapa inicial do projeto, com duração de três meses, concentrou-se em uma exploração aprofundada sobre os fundamentos dos materiais cerâmicos. O principal objetivo dessa fase foi compreender as aplicações, propriedades e outras características relevantes das cerâmicas. Para atingir esse objetivo, foram desenvolvidas diversas atividades, incluindo:

**Revisão Bibliográfica:** Foi realizada uma análise detalhada de artigos científicos e livros especializados sobre materiais cerâmicos. Essa pesquisa abrangeu uma ampla variedade de fontes para garantir um conhecimento sólido e uma compreensão abrangente do tema.

**Discussões Semanais:** Foram promovidas reuniões semanais dedicadas especificamente nos temas abordados na revisão bibliográfica. Esses encontros desempenharam um papel essencial na aplicação do tema, junto com as discussões que foram fundamentais para aprofundar o entendimento, esclarecer dúvidas e identificar lacunas no conhecimento.

**Análise Comparativa:** Foi efetuada uma comparação das diferentes aplicações e propriedades das cerâmicas, com o intuito de identificar padrões e tendências relevantes para o contexto de pesquisa.

**Experimentação Preliminar:** Quando apropriado, foram realizados experimentos preliminares para testar algumas das propriedades das cerâmicas discutidas na literatura.

Esses experimentos foram projetados para fornecer uma perspectiva prática e complementar a compreensão teórica.

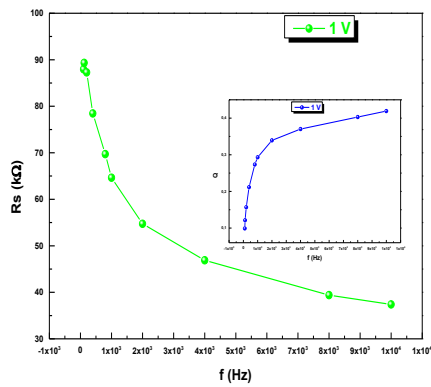
Ao término dessa etapa, esperava-se ter alcançado um conhecimento sólido e abrangente dos fundamentos dos materiais cerâmicos, proporcionando uma base consistente para as próximas fases do projeto. Após atingir um nível adequado de exploração desses conceitos e estabelecer um embasamento teórico sólido sobre o tema, foi decidido que era o momento oportuno para avançar para a fase de experimentação prática. Optou-se por iniciar essa etapa com a produção de amostras, utilizando como foco inicial o óxido de zinco ( $ZnO$ ) dopado com o óxido de Níquel III ( $Ni_2O_3$ ).

Após consultar artigos semelhantes, foi determinada a utilização das massas iniciais de 0,8g e 0,4g, sendo que o óxido de Zinco ( $ZnO$ ) seria dopado com 5% de óxido de Níquel III ( $Ni_2O_3$ ) para a fabricação das primeiras amostras. Em seguida, o processo de produção das amostras foi iniciado.

## RESULTADO E DISCUSSÕES

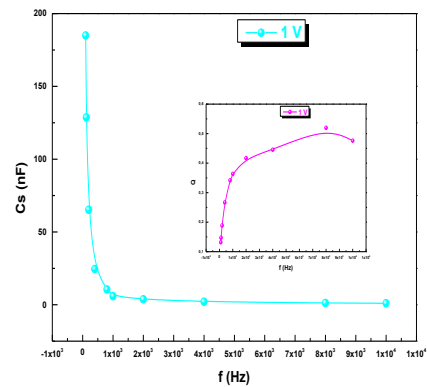
Média das amostras de 6 a 10 – $ZnO + 5\% Ni_2O_3$				
Massa 1 = 0,4 g (antes da sinterização)		Massa 2 = 0,280 g (após sinterização)		
Diâmetro = 8,07 mm		Raio = 4,04 mm	Espessura = 1,12 mm	
Frequência	$R_s$ (k $\Omega$ )	Q	Cs (nF)	Q
100 Hz	87,9502	0,0990	184,9428	0,1319
120 Hz	89,3210	0,1212	128,7388	0,1475
200 Hz	87,2894	0,1567	65,2398	0,1887
400 Hz	78,4550	0,2115	24,5352	0,2667
800 Hz	69,7124	0,2733	10,4949	0,3418
1 kHz	64,6274	0,2932	5,9250	0,3635
2 kHz	54,7272	0,3393	3,7383	0,4170
4 kHz	46,8870	0,3702	2,0823	0,4456
8 kHz	39,3892	0,4029	1,1951	0,5198
10 kHz	37,3876	0,4192	1,0074	0,4762

Gráfico 03 (amostras 6 a 10) Resistência x Frequência



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 04 (amostras 6 a 10) Capacitância x Frequência



Fonte: Autoria própria.

Média das amostras de 16 a 20 –  $ZnO + 10\% Ni_2O_3$

Massa 1 = 0,4 g (antes da sinterização)      Massa 2 = 0,288 g (após sinterização)

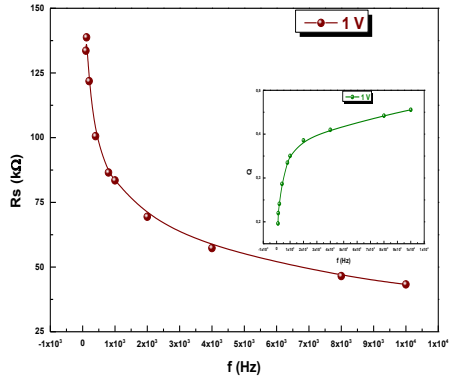
Diâmetro = 11,52 mm

Raio = 5,75 mm

Espessura = 6,31 mm

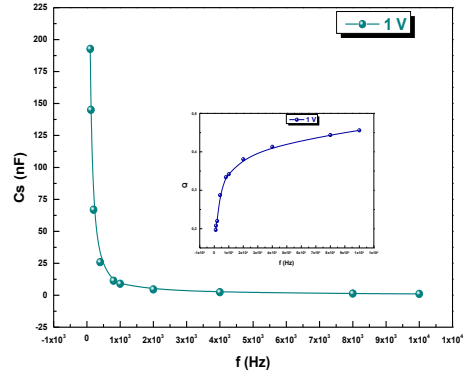
Frequência	$R_s$ (k $\Omega$ )	Q	$C_s$ (nF)	Q
100 Hz	133,61	0,196233333	192,6810	0,1969
120 Hz	138,7766667	0,2199	145,0270	0,2080
200 Hz	121,86	0,2411	66,8710	0,2201
400 Hz	100,5693333	0,286533333	25,8740	0,2874
800 Hz	86,53666667	0,334966667	11,3660	0,3340
1 kHz	83,472	0,350433333	8,9934	0,3418
2 kHz	69,43466667	0,3858	4,5689	0,3808
4 kHz	57,34233333	0,409866667	2,4022	0,4131
8 kHz	46,53266667	0,442133333	1,3041	0,4437
10 kHz	43,27966667	0,4556	1,0739	0,4559

Gráfico 07 (amostras 16 a 20)  
Resistência x Frequência



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 08 (amostras 16 a 20)  
Capacitância x Frequência



Fonte: Autoria própria.

Média das amostras de 26 a 30 –  $ZnO + 15\% Ni_2O_3$

Massa 1 = 0,4 g (antes da sinterização)

Massa 2 = 0,201 g (após sinterização)

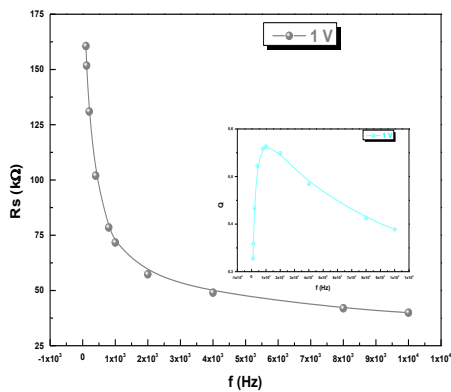
Diâmetro = 18,15 mm

Raio = 9,08 mm

Espessura = 11,23 mm

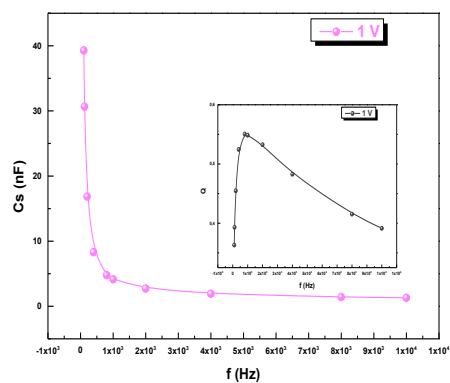
Frequência	Rs (kΩ)	Q	Cs (nF)	Q
100 Hz	160,60	0,327675	39,2888	0,36315
120 Hz	151,735	0,3591	30,6445	0,393125
200 Hz	130,9675	0,434025	16,8428	0,454825
400 Hz	101,96	0,522775	8,2960	0,5246
800 Hz	78,4875	0,559025	4,7880	0,550575
1 kHz	71,715	0,563225	4,1450	0,548675
2 kHz	57,31	0,549525	2,7252	0,5326
4 kHz	49,017	0,484475	1,9245	0,482725
8 kHz	41,9415	0,412875	1,4116	0,415325
10 kHz	39,939	0,389075	1,3061	0,3914

Gráfico 11 (amostras 26 a 30) Resistência x Frequência



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 12 (amostras 26 a 30) Capacitância x Frequência



Fonte: Autoria própria.

A análise das amostras de  $ZnO$  dopada com  $Ni_2O_3$  revelou uma variedade de comportamentos elétricos, sugerindo possíveis variações na composição, estrutura ou processamento do material. A avaliação das massas antes e após a sinterização demonstrou uma redução consistente em todas as amostras, indicando a remoção de voláteis e compactação durante o processo. Essa diminuição contribuiu para melhorar a densidade e as propriedades mecânicas do material.

As medidas das dimensões das amostras mostraram pequenas variações, o que sugere um processo de fabricação uniforme, refletindo consistência no processo de fabricação e garantindo resultados confiáveis e reprodutíveis. Entretanto, a dopagem com  $Ni_2O_3$  impactou significativamente os parâmetros elétricos, como resistência ( $R_s$ ), capacitância ( $C_s$ ) e o fator de qualidade ( $Q$ ).

A resistência elétrica ( $R_s$ ) das amostras variou conforme a frequência aplicada. As amostras dopadas com 5% de  $Ni_2O_3$  apresentaram menor variação na resistência, enquanto as de 10% e 15% exibiram aumentos significativos em algumas faixas de frequência. Esse comportamento pode estar associado a mudanças estruturais causadas pela dopagem, influenciando o transporte de carga no material.

A capacitância ( $C_s$ ) também apresentou variações entre as amostras em diferentes frequências. Embora a tendência geral tenha sido de diminuição da capacitância com o aumento da frequência, amostras com maior teor de  $Ni_2O_3$  mostraram oscilações nos valores, possivelmente devido à formação de novas fases ou efeitos de interface no

material. Esse comportamento evidencia a complexidade das interações elétricas no sistema  $ZnO - Ni_2O_3$ . As variações específicas sugerem influências como densidade de carga superficial ou presença de interfaces. A qualidade (Q) mostrou variação com a frequência, indicando complexidade nas interações elétricas. A presença de picos de alta qualidade em certas frequências sugere a existência de ressonâncias ou modos de oscilação específicos. Esses picos foram mais evidenciados nas amostras com 10% de  $Ni_2O_3$ , indicando uma influência significativa da dopagem na resposta dielétrica do material.

A análise comparativa das amostras dopadas com 5%, 10% e 15% de  $Ni_2O_3$  revelou que concentrações mais elevadas resultam em maior variação nos parâmetros elétricos. Esse efeito pode ser atribuído à modificação da microestrutura do  $ZnO$ , alterando seus mecanismos de condução e armazenamento de carga. Além disso, algumas amostras apresentaram comportamentos inesperados, como resistência muito elevada em baixas frequências e baixas capacitância, sugerindo a presença de efeitos de polarização ou fenômenos interfaciais.

Por fim, os resultados obtidos reforçam a importância da dopagem com  $Ni_2O_3$  na modulação das propriedades elétricas do  $ZnO$ . A variação na resistência, capacitância e fator de qualidade sugere que o teor de dopagem pode ser ajustado para otimizar o desempenho do material em aplicações específicas. Estudos adicionais, incluindo análises microestruturais e espectroscópicas, serão essenciais para compreender melhor os mecanismos subjacentes a essas alterações e aprimorar as propriedades do  $ZnO$  dopado para uso tecnológico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos estudos das propriedades elétricas e magnéticas de compostos eletrocerâmicos à base de  $ZnO$  dopado com diferentes concentrações de  $Ni_2O_3$  observou-se a influência direta da dopagem nas propriedades elétricas desse material. Deste modo, os resultados obtidos mostraram uma variação considerável na resistência e capacitância das amostras conforme a variação da frequência.

Assim, a pesquisa ratificou que a dopagem com  $Ni_2O_3$  é uma estratégia eficaz para regular as propriedades elétricas e magnéticas do  $ZnO$ , oferecendo inúmeras possibilidades de otimização de dispositivos eletrocerâmicos. Fica claro, portanto, que entender essas variações e ser capaz de ajustar as propriedades dos materiais é essencial

para impulsionar o desenvolvimento de tecnologias inovadoras e de ponta na área de dispositivos eletrônicos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Instituto Federal do Maranhão, Campus IFMA Monte Castelo pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa e pelo suporte de infraestrutura oferecido, ao meu dedicado orientador Professor Fábio Sales e a todos os participantes do grupo de pesquisa, em especial aos dedicados voluntários Kelly Ferreira Marinho de Almeida e Mateus Gomes, muito obrigado.

## **REFERÊNCIAS**

- S. M. Sze, "**Physics of Semiconductor Devices**," Wiley, 2006.
- C. Kittel, "**Introduction to Solid State Physics**," Wiley, 2004.
- A. L. Fahrenbruch, R. H. Bube, "**Fundamentals of Solar Cells: Photovoltaic Solar Energy Conversion**," Academic Press, 2012.
- S. Kasap, P. Capper, "**Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials**," Springer, 2007.
- J. M. Marshall, R. M. LaForge, "**Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology**," CRC Press, 2007.
- S. J. Pearton, "**Oxide Semiconductors for Solar Energy Conversion: Titanium Dioxide**," CRC Press, 2019.
- S. J. Pearton, F. Ren, "**Advances in Wide Bandgap Materials for Solar Cell Applications**," Woodhead Publishing, 2018.
- R. B. van Dover, "**Crystallography: An Introduction**," Wiley, 1993.
- A. Tressaud, "**Advanced Inorganic Fluorides: Synthesis, Characterization and Applications**," Elsevier, 2000.
- J. H. Seinfeld, S. N. Pandis, "**Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**," Wiley, 2006.
- P. J. S. Foot, "**Atomic Physics**," Oxford University Press, 2005.
- D. C. Rapaport, "**The Art of Molecular Dynamics Simulation**," Cambridge University Press, 2004.

J. Klinowski, "**Solid State Physics: An Introduction to Principles of Materials Science**," Cambridge University Press, 2019.

D. B. Williams, C. B. Carter, "**Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science**," Springer, 2009.

M. O. Liedke, A. Dubowik, "**Electronic and Structural Properties of Nitrogen-Vacancy Complexes in Semiconductors**," Springer, 2018.